DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zwölfter Jahrgang | 22. August 1924 | Heft 34

Die Crossing-over-Studien der Schule Morgan.

Von J. SEILER, Schlederlohe bei München.

1. Einleitung. Die Vererbungsstudien MORGANS und seiner Schule an der Taufliege Drosophila melanogaster haben zu so fundamentalen Ergebnissen geführt, daß jeder moderne Biologe sich mit denselben auseinandersetzen muß. Die Arbeit MORGANS an Drosophila begann 1910, und die Zeit, in welcher die grundlegenden Resultate erzielt und veröffentlicht wurden, fällt in die Kriegsjahre. Nur ein sehr kleiner Teil der deutschen Biologen hatte die Möglichkeit, an dieser überaus interessanten Epoche der Vererbungsforschung teilzunehmen. Die geistige Mitarbeit begann hier erst, und konnte erst beginnen, als durch die deutsche Übersetzung der MORGANschen Zusammenfassung seiner Resultate in „The physical basis of heredity" (übersetzt von NACHTSHEIM, 1921, BORNTRAEGER) die Befunde der Amerikaner den deutschen Biologen zugänglich wurden. Da manche irrtümliche Auffassung und allerlei Vorurteile dadurch entstanden, daß uns anfangs in der Hauptsache nur Referate zur Verfügung standen und die Originalliteratur auch heute noch nur lückenhaft vorhanden ist, mag es zweckmäßig sein, die imponierende Lehre MORGANS vom Crossing-over kurz zu skizzieren unter hauptsächlicher Berücksichtigung der Resultate der allerletzten Jahre.

Gleich der Ausgangspunkt MORGANS ist interessant und typisch. „Im Anfang war die Tat!" Bald nach der Wiederentdeckung der MENDELschen Vererbungsgesetze konzentrierte sich das Interesse der Vererbungsforscher auf die Frage: Durch welchen Mechanismus werden die mendelnden Erbfaktoren übertragen? Eine Fülle von Tatsachen sprach dafür, daß der Chromosomenmechanismus die Erbfaktoren überträgt. Gegen die wohlfundierte Chromosomentheorie der Vererbung aber führten die Genetiker die Vermutung ins Feld, daß die Zahl der selbständig mendelnden Erbfaktorenpaare zweifellos größer sei als die Zahl der Chromosomenpaare. Dieser Vermutung zuliebe war die Haltung der Genetiker der Chromosomentheorie gegenüber ablehnend und das Vorurteil saß so fest, daß das relativ einfache Experiment, das die Frage hätte entscheiden können, unterblieb. Es bleibt MORGANS größtes Verdienst, hier durch die Tat eingegriffen zu haben. Sind tatsächlich mehr selbständig mendelnde Merkmalspaare vorhanden als Chromosomenpaare? Voraussetzung für eine experimentelle Entscheidung der Frage war ein Untersuchungsobjekt mit wenig Chromosomen und sehr vielen Rassenunterschieden. Drosophila melanogaster entsprach diesen und anderen Anforderungen.

2. Die Zahl der Faktorengruppen. Sind die Chromosomen die Träger der Gene, so muß, bei der großen Zahl der erblichen Merkmale, erwartet werden, daß viele Faktoren in einem Chromosom liegen. Und sind die Chromosomen ferner Individuen, die unverändert von einer Zellgeneration auf die andere übertragen werden, so müßte MENDELS Gesetz von der freien Kombination der Gene nur eine begrenzte Anwendbarkeit haben und eine Korrektur dahin erfahren, daß alle Faktoren, die in einem Chromosom liegen, gekoppelt übertragen werden und nur soviel frei mendelnde Erbfaktorenpaare oder Faktorengruppen vorhanden sein werden, als Chromosomenpaare vorliegen. Solche Koppelungsgruppen konnten nun bei verschiedenen Pflanzen und Tieren nachgewiesen werden, am eingehendsten sind sie studiert an Drosophila melanogaster von MORGAN. Hier zeigte sich tatsächlich, daß, entsprechend den vier Chromosomenpaaren, die Drosophila melanogaster hat (vgl. Fig. 1), vier

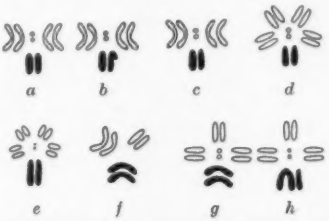

Fig. 1. Chromosomenschemata verschiedener Drosophila-Arten. *a, b* D. melangogaster, $a = ♀$, $b = ♂$; *c* D. simulans; *d* D. virilis; *e* D. funebris; *f* D. willistoni; *g, h* D. obscura, $g = ♀$, $h = ♂$.

Gruppen von gekoppelten Erbfaktoren vorhanden sind. Jedes Chromosom schließt also eine Gruppe in sich. Ich werde später ausführen, daß diese Übereinstimmung zwischen Chromosomenzahl und Zahl der Faktorengruppen durchaus nicht nur für melanogaster zutrifft; sie ist heute schon für eine ganze Reihe von Objekten nachgewiesen und alles deutet darauf hin, daß wir vor einem allgemeinen Gesetz stehen.

3. Der Faktorenaustausch. Die vier Ketten von Genen bleiben nun aber, wie sich für Drosophila herausstellte, nur im männlichen Geschlecht vollkommen intakt. Für das weibliche Geschlecht zeigte sich, daß die Ketten in zwei, seltener in drei, noch seltener in vier oder mehr Teilstücke zerfallen können und bei der Wiedervereinigung derselben

zu den alten Ketten können homologe Stücke und damit homologe Faktorengruppen ausgetauscht werden. Diese Erscheinung nannten die Amerikaner Crossing-over. Über die cytologischen Vorgänge, die dem Faktorenaustausch zugrunde liegen, konnte bis heute nichts ausgemacht werden. MORGAN stellt sich vor, daß während der synaptischen Phänomene die Partnerchromosomen sich spiralig umwinden, dann an Überkreuzungsstellen verkleben und beim Auseinanderweichen nicht zusammengehörige Stücke vereinigt bleiben können. Das ist die sog. Chiasmatypiehypothese, die die Fig. 2 veranschaulichen soll. Weiter ergab sich die

Diese Beziehungen werden uns klar, wenn wir annehmen, daß die Gene im Chromosom linear angeordnet sind; denn nur Punkte, die in einer Geraden liegen, stehen in diesen Beziehungen zueinander. Aus der linearen Anordnung der Gene folgt, daß Abstände zwischen ihnen vorhanden sein müssen. Da nun zwischen zwei Punkten im Chromosom um so häufiger Austausch stattfinden wird, je weiter sie auseinander liegen, so könnten die Austauschwerte Indices für die Abstände der Faktoren im Chromosom sein. Nun bleibt aber fraglich, ob in allen Bezirken eines Chromosoms mit gleicher Häufigkeit Austausch stattfinden kann.

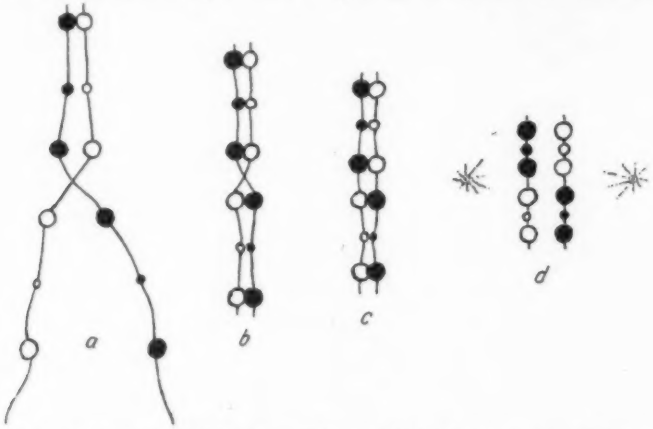

Fig. 2. Austausch im Gefolge einer Chiasmatypie (nach einem neuen Schema MORGANS): a) Beginn der Konjugation zweier homologer Chromosomen; 3 Chromomerenpaare liegen schon Seite an Seite; zwischen dem 3. und dem 4. Chromomer liegt die Überkreuzung; b) Konjugation abgeschlossen; c) Austausch vollzogen; d) Beginn der Reduktionsteilung.

wichtige Tatsache, daß der Prozentsatz des Austausches für die verschiedenen Faktoren typisch und unter gleichen äußeren Umständen konstant ist (vgl. Fig. 3). Diese Tatsache wurde Ausgangspunkt zu den interessanten Überlegungen.

4. Die lineare Anordnung der Gene im Chromosom und die Faktorentopographie. Zwischen den Austauschwerten dreier beliebiger Faktoren eines Chromosomes bestehen ganz bestimmte und konstante mathematische Beziehungen: der Austausch zwischen dem Faktor *a* und einem Faktor *c* ist eine Funktion der Summe oder Differenz von *a b* und *b c*, was durch ein konkretes Beispiel veranschaulicht werden soll, worin die Zahlen die Austauschwerte, in Prozenten ausgedrückt, bedeuten. Die Faktoren gehören dem ersten Chromosom an, und seien mit ihrer amerikanischen Bezeichnung eingeführt.

Wäre das der Fall, so müßten die Crossing-over-Werte direkte Abstandswerte sein. Erfolgt der Austausch aber nicht allein nach den Gesetzen des Zufalls, sondern haben gewisse Chromosomenbezirke häufiger Austausch als andere, so können uns die Austauschwerte höchstens relative Indices der Abstände der Faktoren sein.

Auf Grund dieser Überlegungen konstruierte die Schule MORGAN für alle vier Chromosomen von D. melanogaster die sog. Faktorenkarten. Die Crossing-over-Werte werden auf einer Geraden (= Chromosom) so eingetragen, daß 1% Austausch als eine Längeneinheit gesetzt wird. Die Fig. 4 gibt eine vereinfachte Faktorenkarte wieder; in ihr sind die bekanntesten und am besten studierten Erbfaktoren mit den MORGANschen Bezeichnungen eingetragen. Die Zahlen links vom Chromosom bedeuten die Crossing-over-Werte, gleich „Abstände". Andere, weniger sicher lokalisierte Faktoren sind nur durch Marken angedeutet. Bis heute sind gegen 400 Gene für D. melanogaster bekannt, ihre Zugehörigkeit zu einer von den vier Faktoren-

gruppen festgelegt und die Austauschwerte bestimmt.

5. Doppelter und mehrfacher Austausch. In einem gegebenen Experiment erhalten wir nun aber meist nicht die Austauschwerte, die in der Karte eingetragen sind. Die Werte, die wir in Wirklichkeit erhalten, sind meist kleiner und das deshalb, weil die statistisch faßbare Häufigkeit des Austausches durch ein Phänomen herabgedrückt wird, das doppeltes Crossing-over genannt wurde. Es tritt in Erscheinung, wenn wir das Experiment so einrichten, daß die Möglichkeit besteht, im selben Versuch den Austausch zwischen einer großen Zahl von Erbfaktoren zu verfolgen, die auf der ganzen Länge des Chromosoms, oder doch auf einer größeren Strecke verteilt sind. Führen wir vom einen Elter die dominanten Gene $A-O$ in eine Kreuzung ein, vom anderen Elter die recessiven Faktoren $a-o$, die, wie die dominanten, ein und derselben Koppelungsgruppe angehören, so erhalten wir bei Rückkreuzung der F_1-Weibchen mit dem recessiven

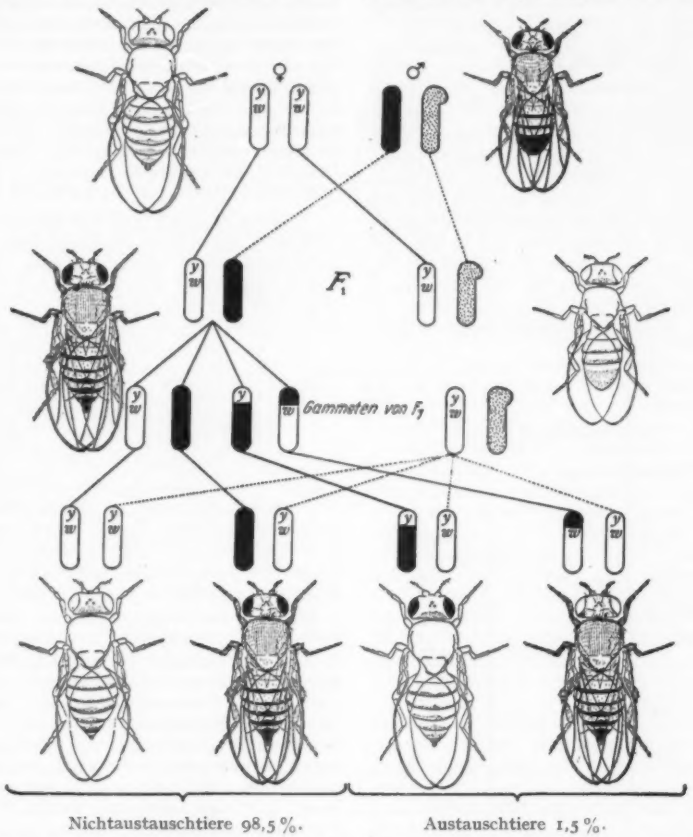

Fig. 3. Austauschexperiment zwischen D. melanogaster ♀ der Mutation „white" (weiße Augen, Symbol *w*) und „yellow" (gelber Körper, Symbol *y*) × Drosophila ♂ der Wildform (grauer Körper, rote Augen, diese im Schema schwarz). *y* und *w* liegen im X-Chromosom; die F_1-Weibchen gleichen infolgedessen, entsprechend den Regeln der Criss-cross-Vererbung, den *P*-Männchen, die F_1-Männchen den *P*-Weibchen. In F_2 erhalten wir neben Nichtaustauschtieren (gelb-weiß einerseits, und wildfarben-rot andererseits) in einem konstanten Prozentsatz (1,5%) Austauschtiere, d. h. in unserem Fall gelb-rot-Tiere und wildfarben-weiß-Tiere. Nach einem Schema MORGANS.

P-Elter (das ist das übliche und rascheste Verfahren, die Austauschwerte zu ermitteln!):

1. Nichtaustauschtiere, d. h. Tiere, in welchen die alte Koppelungsgruppe $A-O$ resp. $a-o$ noch vorliegt;

2. erhalten wir einfachen Austausch, d. h. an jeder beliebigen Stelle der Faktorenkette kann die Koppelung gelöst worden und ein Austausch erfolgt sein. Z. B.

$$\begin{matrix} A\,B\,C\,D\,E\;f\;g\;h\;i\;k\;l\;m\;n\;o \\ a\;b\;c\;d\;e\,F\,G\,H\,I\,K\,L\,M\,N\,O \end{matrix}$$ oder

$$\begin{matrix} A\,B\,C\,D\,E\,F\,G\,H\,I\;k\;l\;m\;n\;o \\ a\;b\;c\;d\;e\;f\;g\;h\;i\,K\,L\,M\,N\,O \end{matrix}$$ usw.

3. erhalten wir doppelten Austausch, d. h. einen zweifachen Bruch in unserer Koppelungsgruppe, z. B.

$$\begin{matrix} A\,B\,C\,D\;e\;f\;g\;h\;i\;k\,L\,M\,N\,O \\ a\;b\;c\;d\,E\,F\,G\,H\,I\,K\;l\;m\;n\;o \end{matrix}$$ oder

$$\begin{matrix} A\,B\;c\;d\;e\;f\;g\;h\,I\,K\,L\,M\,N\,O \\ a\;b\,C\,D\,E\,F\,G\,H\;i\;k\;l\;m\;n\;o \end{matrix}$$ usw.

Es ist ohne weiteres ersichtlich, daß wir den doppelten Austausch übersehen würden und Tiere von der obigen Konstitution den Nichtaustauschklassen zuzählen müßten, wenn wir in unserem Fall nur mit den Faktoren *ABLMNO* gearbeitet hätten. Arbeiten wir also mit Faktoren, die weiter auseinanderliegen, so muß damit gerechnet werden, daß die Crossing-over-Werte, die das Experiment ergibt, zu klein sind, weil doppelter Austausch vorhanden ist. Über die Abstände zwischen zwei Bruchstellen im Chromosom bestehen Gesetzmäßigkeiten; selten liegen die Brüche z. B. nahe beieinander (Interferenzphänomen).

4. Endlich kann an mehr als zwei Stellen im Chromosom ein Bruch erfolgen. Mehr als zweifacher Austausch ist aber bei Drosophila sehr selten und spielt praktisch eine geringe Rolle.

Die Häufigkeit von einfachem und doppeltem oder mehrfachem Austausch ist bezeichnenderweise für die verschiedenen Chromosomen verschieden, was folgende Zusammenstellung zeigt.

	I. Chrom.	II. Chrom.	III. Chrom.	IV. Chrom.
Kein Austausch . .	54,4%	32,5%	?	99%
Einfacher Austausch	41,6%	51,1%	?	1%
Doppelter Austausch	4,0%	15,2%	?	—
Dreifacher Austausch	—	1,3%	?	—

Diese Angaben gehen auf ältere Arbeiten zurück, doch liegen meines Wissens keine neuen Untersuchungen vor in dieser Richtung. Für das III. Chromosom fehlen Experimente mit Faktoren, die sich über die ganze Länge des Chromosoms erstrecken. PLOUGH (1921) arbeitete mit fünf Faktoren des dritten Chromosoms, die 61,2 Einheiten umspannen, und erhielt 50,2% Nichtaustausch und 49,8% Austausch. Das entspricht ungefähr den Verhältnissen im I. Chromosom, dessen „Länge" ja auch etwas über 60 Einheiten beträgt (vgl. Fig. 4).

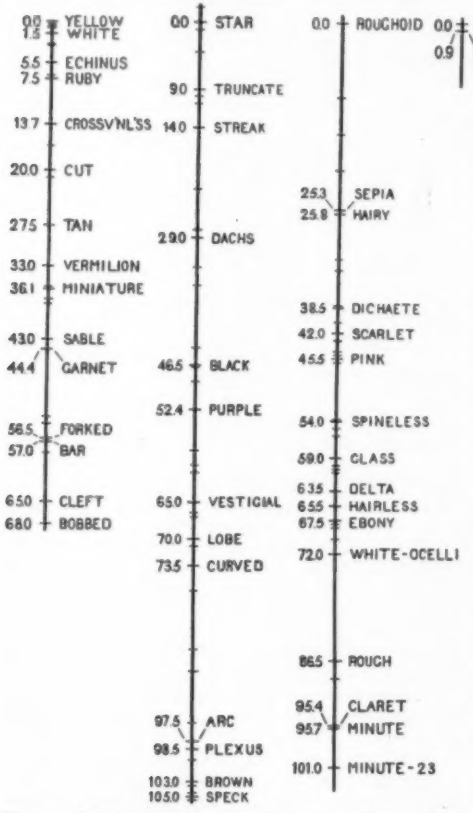

Fig. 4. Faktorenkarte von Drosophila melanogaster.

Diese Experimente mit mehreren Faktoren führten übrigens noch zu einem weiteren, außerordentlich wichtigen Ergebnis; sie zeigen, daß der Austausch nicht so erfolgt, daß einzelne Faktoren ausgetauscht werden, vielmehr werden immer ganze Blöcke von Faktoren ausgetauscht.

6. Faktorenausfall „Deficiency" und Faktorenverdoppelung „Duplication". Es ist vorauszusehen, daß in der zukünftigen Diskussion über das Crossing-over-Phänomen Beobachtungen über Faktorenausfall und Faktorenverdoppelung eine hervorragende Bedeutung spielen werden. Wir verdanken diese Beobachtungen vor allem BRIDGES und einem norwegischen Genetiker L. MOHR (A genetic and cytological analysis of a section deficiency, 1923; Z. f. ind. Abst. u. Vererb. Bd. XXXII). Vielleicht bringen diese Beobachtungen die Lösung der Frage nach den cytologischen Vorgängen, die dem Faktorenaustausch zugrunde liegen. Ich kann nicht kürzer berichten über diese Befunde, als es MORGAN getan hat (MORGAN-NACHTSHEIM, S. 125). „BRIDGES hat auf einen besonderen Fall bei Drosophila aufmerksam gemacht, in dem sich ein Individuum so verhält, als ob ein Stück des einen *X*-Chromosoms (zu erkennen an den Genen, die normalerweise in der Mitte dieses Chromosoms liegen) in Verbindung getreten sei mit dem einen Ende des anderen *X*-Chromosoms. Entsprechend diesem Stück (es umfaßt die Region mit den normalen Allelomorphen von vermilion und sable) [cf. Fig. 4] ergeben die Individuen unerwartete Resultate hinsichtlich der Dominanz oder Recessivität bestimmter Faktoren. Ein Männchen z. B., das

die normal lokalisierten, recessiven Gene für vermilion (scharlachrote Augen) und sable (Körper zobelfarben) enthält und außerdem angeheftet an das *X*-Chromosom mit diesen Faktoren noch ein überzähliges Stück mit den normalen Allelomorphen von vermilion und sable, ist äußerlich eine Fliege vom wilden Typus, anstatt vermilion-sable, was der Fall sein würde ohne dieses überzählige Stück. Ein Weibchen anderseits mit einem solchen Stück Chromosom und einem normalen vermilion-sable-Chromosom gehört äußerlich nicht dem wilden Typus an (wie man vielleicht erwarten könnte), sondern ist vermilion-sable, weil in diesem Falle die beiden recessiven Gene für vermilion und sable dominant sind über das eine normale Allelomorph. Ein Weibchen hingegen mit zwei solchen überzähligen Chromosomenstücken, an jedem *X*-Chromosom eines (es ist tetraploid hinsichtlich der Gene gewisser Regionen des Geschlechtschromosoms), zeigt den wilden Typus, da zwei dominante Faktoren dominant sind über zwei recessive. Ein solches Weibchen, gekreuzt mit einem vermilion-sable-Männchen, liefert Söhne vom wilden Typus und vermilion-sable-Töchter, eine Vererbung übers Kreuz in einem anderen Sinne als die, welcher man gewöhnlich bei Drosophila begegnet."

Analoge Resultate erzielte MOHR mit seiner Deficiency-Mutation, genannt Notch 8. Hier sind 3,8 Einheiten am linken Ende des X-Chromosoms zwischen white und echinus (vgl. Fig. 4) ausgefallen oder die Faktoren dieser Region sind inaktiviert worden. Tiere, die zwei defekte X-Chromosomen haben, sind nicht lebensfähig; analog übrigens wie in den Fällen, die BRIDGES studierte. Crossing-over-Studien mit der Mutation Notch 8 führten zu dem Resultat, daß in der Deficiency-Region kein Faktorenaustausch stattfindet. Ferner stellte sowohl MOHR wie BRIDGES fest, daß in den Bezirken außerhalb der Deficiency-Region keine Störung im Austausch nachzuweisen ist. Diese Tatsache ist von der allergrößten Bedeutung; ich werde darauf im 10. Abschnitt zurückkommen. Offen bleibt die Frage, ob bei Notch 8 die 3,8 Einheiten vollkommen fehlen, oder ob nur die Faktoren dieses Bezirkes inaktiviert sind.

7. *Faktorenaustausch bei anderen Formen.* Seit 1920 ungefähr arbeitet eine größere Zahl amerikanischer Biologen in ausgedehntem Maßstabe mit anderen Drosophila-Arten. Ihre Resultate fügen sich vollkommen dem ein, was von melanogaster bekannt ist. Vor allem stellt es sich immer wieder heraus, daß die Zahl der Koppelungsgruppen der haploiden Chromosomenzahl entspricht. Allerdings ist noch keine zweite Art so genau untersucht wie melanogaster. Ferner erweist sich die Koppelung im männlichen Geschlecht als absolut, genau wie bei melanogaster, während im weiblichen Geschlecht Austausch stattfindet. Untersucht wurden bis heute:

D. simulans. Diese Form hat denselben Chromosomenbestand wie melanogaster (vgl. Fig. 1). Die Geschlechtschromosomen sind noch nicht sicher identifiziert; sehr wahrscheinlich sind die beiden stäbchenförmigen Chromosomen die X-Chromosomen. Bis jetzt konnten für Simulans drei Koppelungsgruppen mit je einer größeren Anzahl von Genen nachgewiesen werden. Es fehlt vermutlich noch die Gruppe, die im kleinsten Chromosom liegt.

D. willistoni. Diese Form hat nur drei Chromosomenpaare, und dementsprechend sind drei Faktorengruppen nachgewiesen. Vor allem für die Gruppe, die im X-Chromosom liegt, sind viele Gene bekannt, die zum Teil in ihrer Wirkung analog sind gewissen Genen von melanogaster.

D. virilis. Virilis hat 6 Chromosomenpaare, und bis heute sind 5 Koppelungsgruppen von Genen bekannt. Wieder fehlt soviel wie sicher die Gruppe, die in dem kleinsten Chromosom liegt. Das ist verständlich; ebenso die Tatsache, daß bei virilis gleich wie bei allen übrigen Arten die I. Gruppe, die des X-Chromosoms, die meisten Gene enthält, weil diese Gruppe, da sie geschlechtsgebunden vererbt wird, am leichtesten entdeckt wird, die des kleinsten Chromosoms am schwersten.

D. obscura. Obscura hat 5 Chromosomenpaare und 5 unabhängige Faktorengruppen sind bekannt. Bemerkenswert ist, daß die Faktorenkarte der ersten Gruppe ungefähr doppelt so lang ist, als die der ersten Gruppe von melangoaster. Das Chromosomenschema der Fig. 1 zeigt, daß auch die X-Chromosomen von obscura ungefähr doppelt so lang sind als die von melanogaster. Dazu kommt noch die weitere Tatsache, daß der Faktor yellow, der bei melanogaster am linken Chromosomenende sich befindet, bei obscura in der Mitte liegt.

Über andere Formen als Drosophila-Arten sind wir vorerst noch wenig unterrichtet über Koppelung und Crossing-over. Immerhin liegen schon eine Reihe von Daten vor für Pflanzen und Tiere (BAUR, PUNNETT, WHITE, SURFACE, HUXLEY, TANAKA), die darauf schließen lassen, daß im wesentlichsten Punkte Übereinstimmung herrscht, daß die Zahl der unabhängigen Merkmalsgruppen gleich der haploiden Chromosomenzahl ist; daß anderseits aber die Austauschverhältnisse sehr mannigfaltig sein mögen und der Austausch gelegentlich ganz anders verlaufen mag, als bei Drosophila, das zeigen z. B. HUXLEYS Ergebnisse (1923) an Gammarus.

8. Die Methode der Faktorentopographie. Zur kritischen Bewertung der ganzen MORGANschen Crossing-over-Lehre ist es unerläßlich, sich ein klares Bild von den Arbeitsmethoden zu machen, die zu dem augenfälligsten Ziele, den Faktorenkarten, führen. Alle „Outsider" wußten gerade über diesen Punkt bis in die allerjüngste Zeit zu wenig; er wurde gleichsam von der Schule MORGAN als Familienangelegenheit behandelt. Erfreulicherweise gibt nun MORGAN in seiner neuesten Arbeit (BRIDGES and MORGAN, The third-Chromosome group of Mutant Characters of D. melanogaster, 1923. Carnegie Publ. No. 327) eine zusammenfassende Darstellung der Methoden der Faktorentopogra-

phie, so wie sie heute im Gebrauche sind und im Verlaufe der Arbeit der letzten 10 Jahre allmählich sich herauskrystallisiert haben.

Die größte Schwierigkeit erwächst der Crossing-over-Forschung aus der Tatsache, daß die Austauschwerte nicht konstant sind, wie man wohl ursprünglich meinte; sie variieren vielmehr außerordentlich. Nach MORGAN besteht z. B. zwischen white (Faktor für weiße Augenfarbe) und miniatur (verkümmerte Flügel, beides Faktoren des ersten Chromosoms; vgl. Fig. 4) „normalerweise" ein Austausch von 33%. DETLEFSEN (1921) züchtete nun durch mühsame Selektionsexperimente eine Rasse mit konstant 0% Austausch zwischen *w* und *m* rein. Außerdem erhielt er eine Rasse mit konstant 6% Austausch. Diese und analoge Resultate anderer Forscher scheinen den Resultaten und Überlegungen MORGANS zu widersprechen. Das ist jedoch nicht der Fall, denn aus diesen Ergebnissen folgt vorerst nur, daß jedes Crossing-over-Experiment mit der Tatsache der Variabilität der Austauschwerte zu rechnen hat und es erste Aufgabe des Forschers ist, den Ursachen der Variabilität nachzuspüren, und sie soviel wie möglich zu eliminieren. Nur solche Austauschwerte dürfen benützt werden als Ausgangspunkt für Spekulationen, die unter einheitlichen, bestimmten Zuchtmethoden gewonnen wurden. Namentlich die Experimente der letzten Jahre scheinen diesen Anforderungen zu entsprechen, denn MORGAN schreibt (1923): „The only crossing-over data known to be strictly homogeneous are those derived from a given single pair, and from their progeny for only a very short period of egg-laying at a constant temperature." Genetische Faktoren, Alter der Tiere, Temperatur beeinflussen vor allem die Austauschwerte. Merkwürdigerweise wirkt Alter und Temperatur auf die verschiedenen Chromosomen verschieden; für das X-Chromosom und große Bezirke des II- und III-Chromosoms ist der Einfluß sehr gering; groß dagegen für die Mitte des zweiten und dritten Chromosoms, in der Region von purple (II) und pink (III, vgl. Fig. 4). Benützen wir für das Studium dieser Bezirke nur Weibchen von einem ganz bestimmten Alter, züchten wir ferner bei konstanter Temperatur und schalten wir genetische Faktoren, die den Austausch beeinflussen können, aus, so werden die Resultate einheitlich und brauchbar. Heute benützen die Amerikaner Drosophila-Weibchen bis zum Schlüpfen ihrer ersten Nachkommen, das ist im Mittel zirka 10 Tage bei einer Temperatur von 24—25°. „Most of the work of late years has conformed to the mating-to-emergence standard . . . a temperature of 24° to 25° has been adopted as standard."

Zur Beurteilung der Frage, ob ein bestimmter Austauschwert ein Standardwert ist, wird der Austausch in den empfindlichsten Regionen eines Chromosoms herangezogen. Im III-Chromosom liegt die empfindliche Region ungefähr zwischen sepia und ebony (vgl. Fig. 2), wobei die Strecke scarlet-pink am leichtesten beeinflußbar sich erweist. Sollen wir nun die Austauschwerte eines neuen Faktors des dritten Chromosoms bestimmen, so wird versucht, im gleichen Experiment Daten zu gewinnen über den Austausch in der Region sepia-ebony. Sind die Daten dieser Strecke die üblichen, so dürfen die Austauschwerte des neuen Faktors als Standardwerte angesehen werden.

Wenn immer möglich, sollen ferner in jedes Crossing-over-Experiment sog. „first-rank locus" eingeschlossen werden, d. h. Faktoren, über deren Lage im Chromosom außerordentlich viele sichere Daten vorliegen. Für jedes Chromosom (abgesehen vom vierten, für das heute nur noch drei Faktoren ermittelt wurden) besitzen die Amerikaner einige solcher Orientierungspunkte. Ist der Austausch zwischen diesen in einem Experiment mit einem neuen Faktor ein Standardwert, so wird das auch der Fall sein für den Austausch zwischen dem neuen Faktor und diesen bestbekannten Faktoren.

Schon in den ersten Jahren der Crossing-over-Forschung zeigte STURTEVANT namentlich, daß erbliche Faktoren vorhanden sein können, welche den Austausch beeinflussen. Der übliche Weg der Prüfung, ob solche in einem gegebenen Fall vorliegen, ist die Rückkreuzung von 8 F_1-Weibchen, die von demselben *P*-Paar abstammen.

9. Die Bedeutung der Faktorenkarten. Es ist möglich, daß die Crossing-over-Forschung in ihren Flitterwochen geneigt war, die Bedeutung der Faktorenkarten zu überschätzen und anfangs die Vorstellung nicht genügend niederkämpfte, daß die Crossing-over-Werte direkte Anhaltspunkte geben für die wirklichen Abstände der Faktoren im Chromosom. Jedenfalls aber hat vor allem STURTEVANT 1915 schon klar betont, daß wir nicht wissen, ob in allen Teilen eines Chromosoms der Austausch mit gleicher Häufigkeit erfolgt; noch weniger wissen wir, ob zwischen den vier Chromosomen darin Übereinstimmung herrscht. Deshalb dürfen wir vorerst niemals Crossing-over-Wert gleich Abstand setzen, und in jüngeren Arbeiten der Morganschule wird das auch immer wieder betont. Wenn trotzdem MORGAN in seiner neuesten Publikation (1923, S. 28) die Länge der Faktorenkarten mit der wirklichen Länge der Chromosomen vergleicht und damit also Austauschwert (wenigstens im Mittel) gleich Abstand setzt, so dürfen wir ihm daraus keinen Vorwurf machen, denn das Ergebnis des Vergleiches ist zu auffällig. Nach den letzten Befunden zählt das I. Chromosom 70 Einheiten, das II. 107, das III. 106 und das IV 1 Einheit. Das Verhältnis beträgt also 1:1,5:1,5:0,01 (nicht 0,1, wie MORGAN irrtümlicherweise schreibt). Diese Verhältniszahlen gleichen in hohem Maße denjenigen, welche wir erhalten, wenn wir die wirkliche Länge der Ovogonien-Metaphasenchromosomen von D. melanogaster vergleichen. Hier ist das Verhältnis 1,0:1,7:1,5:0,1. Daraus würde folgen, daß eine Einheit der Faktorenkarten im Mittel ungefähr derselben Teilstrecke der ersten drei Chromosomen gleicht. — Auch folgen wir MORGAN mit

Vergnügen, wenn er „ein bißchen spekuliert" über die mögliche Größe eines Erbfaktors, ausgehend von der Annahme, daß Crossing-over-Wert gleich Abstand sein könnte (1922, Proc. of Roy. Soc. Vol. 94, S. 194).

Nun, wie gesagt, der Sinn der Faktorenkarten ist vorerst nicht der, über die wirkliche Lage der Faktoren im Chromosom zu orientieren, sie wollen vielmehr, abgesehen von ihrem praktischen Werte, nur ein graphischer Ausdruck der Theorie der linearen Anordnung der Faktoren in bestimmter Reihenfolge im Chromosom sein.

Die praktische Bedeutung der Karten ist unbestritten. Sie ermöglichen es, auf Grund weniger Austauschexperimente mit einem neuen Faktor, sämtliche Austauschwerte vorauszusagen, die zwischen diesem Faktor und all den anderen Faktoren derselben Faktorengruppe bestehen. Tritt z. B. ein neuer Faktor in der ersten Gruppe auf, und haben wir festgestellt, daß zwischen ihm und dem Faktor vermilion (s. Fig. 4) ein Austausch von 5% besteht, und zwischen ihm und miniatur 2%, so wissen wir, daß der neue Faktor zwischen miniatur und sable liegen muß und können leicht alle übrigen Austauschwerte annähernd genau berechnen. MORGAN hebt hervor, daß von dieser Möglichkeit der Voraussage unzählige Male Gebrauch gemacht wurde und daß die nachträglichen experimentellen Feststellungen niemals Enttäuschungen gebracht haben. Das ist außerordentlich viel.

Im übrigen aber könnten trotz allem die Faktorenkarten eine holde Täuschung sein. GOLDSCHMIDT (Genetics 2, 1917) vor allem hat auf eine andere Deutungsmöglichkeit der Crossing-over-Daten hingewiesen. Ich benütze seine Worte: „Ich versuchte zu zeigen, daß bisher kein Grund vorliegt, anzunehmen, daß die Chromosomenkarten eine Realität darstellen, also daß das, was MORGAN aus den Faktorenaustauschwerten als Distanz der Faktoren im Chromosom berechnet, wirkliche Distanzen sind. Ich wies ferner darauf hin, daß alle die Einzeltatsachen der Faktorenaustauschlehre, die als Beweis für die Realität der typischen Faktorendistanz im Chromosom und die Chiasmatypie als Ursache des Austausches angeführt werden, ebensogut für irgendeine andere Erklärung sprechen, die sich geometrisch durch relative Distanzen auf einer Geraden ausdrücken läßt." (Arch. f. Zellforsch. XVII, S. 181.) Mir selbst schienen diese Überlegungen im höchsten Maße beachtenswert zu sein und zur Vorsicht zu mahnen. Ergebnisse der Crossing-over-Forschung der allerletzten Jahre sprechen jedoch so sehr zugunsten der MORGANschen Theorie, daß auch der zurückhaltende Beurteiler je länger, je mehr zur Überzeugung kommen muß, daß die Faktorenkarten tatsächlich eine Realität darstellen, insofern, als sie die wirkliche Reihenfolge der Faktoren im Chromosom wiedergeben. Daß sie das tun, davon überzeugten mich vor allem die Ergebnisse der Duplikation- und Deficiency-Experimente (vgl. Abschnitt 6). Die Duplikation kann nur so verstanden werden, daß wir annehmen, daß ein Stück eines Chromosoms „irrtümlicherweise" an ein anderes angeheftet wird. Es wird selten so klein sein, daß in ihm nur ein Faktor liegt; vielmehr haben wir zu erwarten, daß meist eine Reihe benachbarter Faktoren mit dem Chromosomensegment „transplantiert" werden, resp. bei deficiency eine Reihe benachbarter Faktoren ausfallen. Und da nun tatsächlich die Duplikation- und Deficiency-Experimente zu dem Resultat führten, daß immer solche Faktoren ausfallen, resp. verdoppelt werden, die nach der Faktorenkarte in unmittelbarer Nachbarschaft liegen (vgl. vor allem MOHR, 1923, Induktive Bd. XXXII), so folgt eben daraus, daß die Faktorenkarten die Reihenfolge der Faktoren richtig wiedergeben.

10. *Der cytologische Vorgang des Faktorenaustausches.* Die schwächste Stelle der MORGANschen Crossing-over-Theorie ist seine Chiasmatypiehypothese, d. h. also die Vorstellungen, daß im Gefolge einer spiraligen Umwindung der Chromosomen und einer Chiasmabildung der Faktorenaustausch zustande kommt; denn weder konnte gezeigt werden, wann der Austausch stattfindet, noch wie er erfolgt. Aber abgesehen davon, daß die Chiasmatypiehypothese keine Tatsachenbasis hat, erklärt sie die grundlegenden Tatsachen der Crossing-over-Forschung nur mangelhaft oder überhaupt nicht und steht überdies mit wichtigen experimentellen Daten in Widerspruch. Soll die spiralige Umwindung und Überkreuzung der konjugierenden Chromosomenfäden allein Ursache des Austausches sein, dann bleibt die Tatsache unverständlich, daß nur im weiblichen Geschlecht von Drosophila Austausch stattfindet, denn eine spiralige Umwindung findet im männlichen Geschlecht ebenso statt wie im weiblichen. Ferner, warum werden nur genau entsprechende Segmente ausgetauscht? Eine Antwort auf diese fundamentalste Tatsache, welche die Crossing-over-Forschung aufgedeckt hat, könnte die Chiasmatypiehypothese aber höchstens dann geben, wenn angenommen wird, daß der Austausch sich erst dann vollzieht, wenn die Konjugation der Paarlinge vollkommen abgeschlossen ist, die homologen Chromomere alle einander genau gegenüber liegen. Ein Grund zum Austausch läge aber da gar nicht vor. Wie aber, wenn die Überkreuzung erfolgen soll im Verlauf der Konjugation, wenn die sich paarenden Fäden erst eine Strecke weit parallel liegen und in der Mitte oder an einem Ende noch weit auseinanderklaffen? Und in dieses Stadium verlegt MORGAN den Austausch (vgl. Fig. 2). Ein Auswechseln genau gleicher Stücke wäre in diesem Fall für einfaches und doppeltes Crossing-over etwa noch erklärlich, wenn die Konjugation an beiden Enden beginnt und die Überkreuzung unmittelbar da stattfindet, wo der gepaarte Doppelfaden übergeht in zwei auseinanderklaffende einfache Fäden. Wie aber bei dreifachem, mehrfachem Austausch? Es bleibt uns nichts anderes übrig, als zu der willkürlichen Annahme unsere Zuflucht zu nehmen, daß Überkreuzung nur an genau entsprechenden

Stellen beider konjugierenden Fäden erfolgt, resp. daß nur in diesem Fall Austausch stattfindet. Damit verliert aber die Chiasmatypiehypothese jeden erklärenden Wert. Warum soll denn überhaupt bei Überkreuzung Austausch stattfinden? Die Chiasmatypiehypothese gibt auch auf diese Frage, die doch in erster Linie gelöst sein müßte, keine Antwort. Gerade in der GELEIschen Arbeit über Dendrocoelium, die MORGAN zugunsten der Chiasmatypiehypothese heranzieht, ist Beobachtungsmaterial darüber, daß in einer Schleife eines konjugierenden Chromosomenpaares ein fremdes Chromosom sich verfangen kann, daß dieses aber durch eine gewisse eigene Bewegungsfähigkeit aus der Verstrickung wieder herausgleiten kann. Ist das möglich, warum soll denn wegen einer doch leichter rückgängig zu machenden Überkreuzung die Kontinuität eines Fadens verloren gehen? In ausgezeichneter Weise soll die Chiasmatypiehypothese die Interferenzphänomene erklären! Also die Tatsache, daß die ausgetauschten Segmente eine typische mittlere Länge haben; ganz kurze Austauschstücke sind selten, ebenso ganz lange, am häufigsten haben die Blöcke eine mittlere Länge. „This discovery fits in excellently with the view that crossing-over is brought about by twisting of the Chromosomes about each other, for if the Chromosomes twist about each other in loops, then, owing to the rigidity of the chromosomes, very short loops will be less likely to occur than somewhat longer ones." (1922, Proc. of the Roy. Soc. Vol. 94, S. 193.) Solange wir uns an ein Schema halten, läßt sich das in der Tat auch bestechend demonstrieren. Anders allerdings, wenn wir an die Chromosomen denken und den Fall an Hand konkreter Daten erledigen. Im X-Chromosom z. B. findet in 43% einfacher Austausch statt, in 13% doppelter und in nur ungefähr 2% haben wir dreifachen Austausch. Nun soll der Austausch etwa beim Übergang des Leptotän zum Diplotän erfolgen, also dann, wenn die Chromosomen lang fadenförmig ausgezogen sind, den ganzen Kernraum erfüllen und meist mehrfach gewunden sind, zum mindesten eine U-förmige Schleife bilden. Es ist vollkommen undenkbar, daß zwei Überkreuzungen, die auch nur wenige Chromomere auseinanderliegen sich störend beeinflussen sollten, gar nicht zu reden von Überkreuzungen, die weiter auseinanderliegen, und daß aus der Festigkeit des X-Chromosomenfadens verständlich würde, daß nur in 12% doppelter Austausch erfolgt. Das kleine Teilstück eines diploiden Chromosomenfadens, das MORGAN aus der GELEIschen Arbeit abbildet, hat z. B. nur wenige Chromomerenpaare auseinander zwei oder drei Überkreuzungen (vgl. Fig. 5; nach MORGAN, 1922, S. 191, Fig. 32 b.) Kurz, auch den Interferenzphänomenen gegenüber ist die Chiasmatypiehypothese hilflos.

Fig. 5. Ein konjugierendes Chromosomenpaar von Dendrocoelium nach GELEI.

In direktem Widerspruch steht sie endlich mit den Ergebnissen der Duplication- und Deficiencyexperimente. Kommt der Austausch so zustande, wie MORGAN denkt, dann müßte bei Deficiency, also dann, wenn aus der Kontinuität eines Chromosomenfadens ein Teilstück verloren gegangen ist, die beiden Paarlinge also verschieden lang sind, ein normaler Austausch überhaupt nicht mehr möglich sein oder es müßten zum mindesten starke Störungen im Austausch erfolgen. Oder besteht Deficiency darin, daß nur die Gene in einem bestimmten Bezirk eines Chromosoms inaktiviert werden, so müßte, da in der Deficiencyregion kein Austausch erfolgt, links und rechts dieser Region die Austauschwerte vom üblichen abweichen (auf Grund der Gesetzmäßigkeiten der Interferenz!). Das ist aber nicht der Fall; auch sonst treten keine Störungen im Austausch auf, und daraus folgt eben, daß der Austausch nicht im Gefolge einer Chiasmabildung auftreten kann und die Chiasmatypiehypothese aufgegeben werden muß.

Über den Vorgang des Austausches sind deshalb andere Vorstellungen entwickelt worden. Sie gingen aus von direkten Beobachtungen über Aufsplittern von Chromosomen resp. von Beobachtungen über Bildung von Sammelchromosomen (GOLDSCHMIDT, Arch. f. Zellforsch. Bd. XVII, 1923; SEILER, ibid. XVI., 1922; SEILER-HANIEL, Induktive Bd. XXVII, 1921). Die Quintessenz dieser Überlegungen ist folgendes: Die bindenden Kräfte zwischen den einzelnen Teilchen eines Chromosoms können, namentlich bei kurzen Chromosomen, ausreichen, um jederzeit den Zusammenhalt zu garantieren; sie können aber auch so bemessen sein, daß sie in gewissen Stadien, welche die Chromosomen durchlaufen, nur knapp ausreichen und Zug oder Druck, oder chemische Kräfte oder was es auch sein mag, leicht ein Auseinanderreißen des ganzen Gefüges an der einen oder anderen Stelle vor allem bei langen Chromosomen bewirken können. Da die Umweltsbedingungen der Chromosomen in der Ovogenese andere sind als in der Spermatogenese, so ist leicht vorstellbar (und auch durch direkte Beobachtung an L. monacha z. B. nachgewiesen), daß in bezug auf das Aufsplittern beide Geschlechter sich verschieden verhalten können. Da weiter an entsprechenden Stellen homologer Chromosomen dieselben Kräfteordnungen den Zusammenhalt bewirken, ist es leicht denkbar, daß dieselbe Ursache, die ein Aufsplittern eines Chromosomes meinethalb zwischen den Faktoren F und G zur Folge hat, auch im homologen Chromosom an derselben Stelle ein Bruch bewirkt. Damit ist dann, wenn die alten Kräfte des Zusammenhaltens wieder in Wirkung treten, die aufgesplitterten Segmente sich wieder vereinigen, die Möglichkeit zum Austausch gegeben, wobei nach diesen Vorstellungen deshalb nur genau entsprechende Teilstücke ausgetauscht werden können, weil die bindenden Kräfte für jede Stelle im Chromosom typisch sind nach Art

und Ausmaß, und weil sie an entsprechenden Stellen homologen Chromosomen genau gleich sind. Sind es vorwiegend mechanische Ursachen zufälliger Natur, die ein Aufsplittern hervorrufen, so wären auch die Interferenzphänomene verständlich, denn es ist in diesem Fall ohne weiteres klar, daß die Gefahr eines Bruches um so größer ist, je länger das Chromosom ist, und daß ein vollzogener Bruch die Chancen für einen weiteren Bruch verringert hat in wohl gesetzmäßiger Weise. Daß endlich Duplication und Deficiency direkt darauf hindeuten, daß ein Aufsplittern der Chromosomen dem Austausch zugrunde liegen könnte, das geben selbst Anhänger der Chiasmatypiehypothese zu (vgl. MOHR, S. 204). Es ist zu hoffen, daß über die vorgetragene Hypothese durch direkte cytologische Beobachtung entschieden werden kann. Ich selbst habe Untersuchungen in dieser Richtung an D. melanogaster versprochen, und auch begonnen, habe dieselben aber fallen lassen, da das Thema auch von anderer Seite in Angriff genommen worden ist. — Diese Vorstellungen über Faktorenaustausch im Gefolge einer Chromosomenaufsplitterung stehen nicht im Widerspruch mit der MORGANschen Crossing-over-Theorie. Denn sind, um nur auf eine Möglichkeit hinzudeuten, die bindenden Kräfte zwischen den einzelnen Teilchen eines Chromosoms nur qualitativ verschieden, quantitativ aber ungefähr gleich, so ist überall dieselbe Möglichkeit zum Austausch gegeben, und Austauschprozentsatz und Abstand können proportional sein.

11. Schlußbemerkung. Die Crossing-over-Studien der amerikanischen Biologen erfüllen mich mit Bewunderung. Denn setzen wir selbst den Fall, daß alles, was die Morgan-Schule an neuen Erkenntnissen aufgedeckt hat, vergänglich sei, so bleibt in methodischer Beziehung ein bewunderungswürdiges Beispiel eines Zusammenarbeitens eines ganzen Stabes von Forschern, alle dienstbar einer Idee, die mit einer Konsequenz und einer Sachlichkeit verfolgt wird, die vielleicht ohne Beispiel in der ganzen Biologie ist. Man hat der Morgan-Schule vorgeworfen, sie spekuliere zu viel; nichts ist unberechtigter! Nirgends wird so wenig spekuliert, wie gerade hier; die MORGANschen Hypothesen lassen sich in wenige Sätze zusammenfassen, die das Leitmotiv abgeben für hunderte von Arbeiten, die nacktes Tatsachenmaterial herbeitragen; Beobachtung folgt auf Beobachtung, und ehe eine Vermutung laut ausgesprochen wird, wird auch schon das Experiment in Gang gesetzt, das über ihre Richtigkeit entscheiden soll. Darin sind diese amerikanischen Arbeiten vorbildlich. Im Anfang steht die Tat! — War es Zufall, daß GOETHE seinen Wilhelm Meister, um ihn zum Tatmenschen ausreifen zu lassen, nach Amerika führte!? Glückliches Amerika, „Dich stört nicht im Innern zu lebendiger Zeit unnützes Erinnern und vergeblicher Streit" (GOETHE).

Nachruf auf Hans Geitel.

Gehalten in der öffentlichen Sitzung der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen am 24. Mai 1924.

Von ROBERT POHL, Göttingen.

HANS GEITEL ist am 16. Juli 1855 in Braunschweig geboren. Sein Vater war Forstmeister. Seine Jugendjahre hat GEITEL in Blankenburg zugebracht. In Blankenburg schloß GEITEL Freundschaft mit einem gleichaltrigen Knaben, JULIUS ELSTER. Der war der Sohn eines Nachbarn, eines Theologen.

Beide Freunde absolvierten gemeinsam das humanistische Gymnasium. 1875 wurde das Abiturientenexamen bestanden. Dann gingen beide nach Heidelberg. Sie studierten Naturwissenschaften, insbesondere Physik. Auf Heidelberg folgte Berlin. QUINCKE, BUNSEN und KIRCHHOFF waren die entscheidenden akademischen Lehrer.

1879 wurden die Abschlußexamen erledigt. Es folgte eine kurze Trennung. GEITEL wurde Probekandidat am Gymnasium zu Wolfenbüttel, ELSTER am Gymnasium zu Blankenburg. Aber schon 1881 sind sie wieder vereinigt. GEITEL war am Wolfenbütteler Gymnasium fest angestellt worden und ELSTER neu in den Lehrkörper eingetreten.

Beide Freunde wohnten bei GEITELS Mutter. Dann heiratete ELSTER. GEITEL verlor seine Mutter. Er siedelte ganz zu ELSTER über. ELSTER ließ sich in Wolfenbüttel ein schönes, großes Wohnhaus bauen. Im ersten Stock erhielt GEITEL seine Zimmer. Er hat sie nach seinen eigenen Bedürfnissen eingerichtet. Alles Dekorative fehlte. Im Arbeitszimmer gab es weder Vorhänge noch Gardinen. In einer Ecke lagen die Sonderdrucke und Broschüren in flachen Haufen aufgeschüttet. Die Fensterbänke waren mit Käfigen besetzt. Sie enthielten allerlei Getier. Unter anderem wurden Nashornkäfer gepflegt und Heuschrecken verschiedener Arten gezüchtet. Fernrohr und Mikroskop fehlten nicht. Alles verriet den eifrig beobachtenden Naturfreund.

Was an Tischen und Stühlen vorhanden war, war dicht mit Büchern und allerlei Kram bedeckt. Aber schließlich ließen sich ja etliche Bücherstapel auf den Boden legen. Dann konnte man sich hinsetzen. Dann gab es auch Platz für einige Gläser und eine Flasche Rheinwein. Da sah der Besucher das berühmte Freundespaar in ungezwungener Unterhaltung vor sich: JULIUS ELSTER, von gedrungener Gestalt, lebhaft und erregbar. HANS GEITEL, groß und schlank, mit hoher Stirn. Dabei ein Ausdruck seltener Güte in glänzenden, großen Augen. Wer diese guten Augen gesehen hat, wird sie nie vergessen.

ELSTER und GEITEL haben über 120 wissen-

schaftliche Arbeiten veröffentlicht, fast ausnahmslos gemeinsam. Seit 1882 sind sie ununterbrochen forschend tätig gewesen. Die überwiegende Mehrzahl der Arbeiten bringt neue experimentelle Tatsachen. Stets sind diese dem Rahmen einer großzügigen Fragestellung eingeordnet. Ihre Versuche führten ELSTER und GEITEL in ihrem Privatlaboratorium aus. Dieses Laboratorium lag im Erdgeschoß ihres Hauses. Es war klein, aber in seiner Art musterhaft eingerichtet. Alles verriet die Meister der Experimentierkunst. Die Apparate mußten zunächst aus eigenen Mitteln beschafft werden. Später hat es nicht an verständnisvoller finanzieller Förderung seitens wissenschaftlicher Stiftungen und Gesellschaften gefehlt.

Die Arbeiten ELSTERS und GEITELS bilden ein einheitliches Ganzes. Alle hängen innerlich zusammen. Eine Zerlegung in einzelne Gruppen dient nur der leichteren äußeren Übersicht.

Den Ausgangspunkt einer Gruppe ihrer wichtigsten Untersuchungen hatte 1885 die Frage der Gewitterentstehung gebildet. Im Laufe der Jahre zogen ELSTER und GEITEL alle elektrischen Erscheinungen unserer Atmosphäre in den Kreis ihrer Forschungen. Nach dem Ableben ELSTERS sind insbesondere die luftelektrischen Untersuchungen der Freunde in ausführlichen Nachrufen gewürdigt worden. Es wurde von berufener Seite gezeigt, wie ELSTER und GEITEL in allen Fragen der Luftelektrizität führend gewesen sind.

Das Problem der atmosphärischen Elektrizität enthält einen recht dunklen Punkt. Die Luft ist im Freien fast immer positiv geladen. Wo liegt der Ursprung dieser Ladungen? 1888 trat HALLWACHS mit seiner Entdeckung hervor. Bestrahlung mit ultraviolettem Licht erzeugt eine positive Aufladung der Körper. Man nennt diese Erscheinung den lichtelektrischen Effekt. ELSTER und GEITEL vermuteten sogleich einen Zusammenhang mit ihrem Problem. Sie suchten die positive Ladung der Luft durch den lichtelektrischen Effekt des Sonnenlichtes zu deuten. Das Experiment gab dieser Vermutung in ihrer Allgemeinheit nicht Recht. Aber es gab den Anstoß zur zweiten Gruppe bahnbrechender Arbeiten ELSTERS und GEITELS. Diese Arbeiten galten dem lichtelektrischen Effekt.

ELSTER und GEITEL bewiesen mit schlagenden Versuchen, daß dieser Effekt keineswegs auf das kurzwellige, ultraviolette Licht beschränkt ist. Sie fanden, in unserer heutigen Ausdrucksweise, daß auch sichtbares, ja sogar ultrarotes Licht Elektronen abspalten kann. Voraussetzung ist nur, daß die bestrahlten Körper im chemischen Sinne hinreichend elektropositiv sind. Das ist bei allen Alkalimetallen und Legierungen mit ihnen der Fall. Dies Ergebnis wurde bald praktisch verwertet. ELSTER und GEITEL konstruierten ihr lichtelektrisches Photometer. Dies ist heute jedem Anfänger unter ELSTERS und GEITELS Namen bekannt. Sie belegten durch weitere Arbeiten die vielseitige Anwendung dieses Instrumentes. Sie verfolgten beispielsweise den Helligkeitsverlauf bei astronomischen Finsternissen. Später hat GUTHNICK, heute Chef der großen Babelsberger Sternwarte, die ELSTER- und GEITELsche Photometrie in die Stellarastronomie eingeführt. Der Erfolg war über Erwarten groß. Lichtschwankungen unter 1% wurden der Messung zugänglich. Zuvor waren etwa 10% die untere Grenze der Nachweisbarkeit gewesen. Die Zahl der Fixsterne mit zeitlich veränderlicher Helligkeit wuchs und wächst ständig weiter. Der Astronomie ist ein ganz neues Arbeitsfeld entstanden. Das Inland und das Ausland arbeitet an seiner Ausbeutung.

Das Photometer ELSTER und GEITELS mißt die einfallende Lichtenergie durch die Größe eines elektrischen Stromes. Der Ausschlag des Strommessers und die Lichtenergie sind einander streng proportional. Das gilt in dem weiten Helligkeitsbereich zwischen vollem, blendendem Sonnenlicht und dem schwächsten Leuchten, das ein ausgeruhtes Auge noch gerade im Dunkeln wahrzunehmen vermag. Auf dieser weitgehenden Proportionalität beruht der Wert des lichtelektrischen Photometers vor anderen Instrumenten auf ähnlicher Grundlage. ELSTER und GEITEL haben diesen Punkt rechtzeitig erkannt. Sie haben ihn auch erfolgreich gegenüber allen Zweiflern verteidigt.

Neben der Astronomie ist die Spektroskopie durch die lichtelektrische Photometrie ELSTER und GEITELS erheblich gefördert worden. P.P.KOCH hat dies Anwendungsgebiet erschlossen. Dann ist die Phosphorescenz zu nennen. LENARD und seine Schüler haben hier wichtige Fortschritte gebracht. Das Photometer ELSTER und GEITELS war ihr wesentliches Hilfsmittel.

Das lichtelektrische Photometer hat große Bedeutung gewonnen. Im Rahmen der Arbeiten ELSTER und GEITELS war es eigentlich nur ein Nebenergebnis. Ihr Hauptaugenmerk richteten ELSTER und GEITEL auf die Frage nach dem Mechanismus der lichtelektrischen Wirkung. Alle stark elektropositiven Substanzen waren, wie wir sahen, durch sichtbares Licht erregbar. Unter ihnen befand sich eine bei Zimmertemperatur flüssige Legierung der Metalle Kalium und Natrium. Aus dieser Legierung konnten ELSTER und GEITEL reine spiegelnde Oberflächen im Vakuum herstellen. Sie übertreffen ganz sauberes Quecksilber noch an Glanz. An diesen Spiegeln studierten ELSTER und GEITEL den Einfluß der Polarisation des Lichtes auf die Zahl der entweichenden Elektronen. Sie entdeckten einen zahlenmäßigen Zusammenhang zwischen der Lichtabsorption und Elektronenemission. Dieser Zusammenhang hat sich später als einem Sonderfall angehörend erwiesen. Die allgemeine Frage ist heute nach 30 Jahren zwar gefördert, aber noch nicht endgültig geklärt.

Als Grundlage der lichtelektrischen Wirkung nahmen ELSTER und GEITEL einen Resonanzvorgang an. Sie hatten die gegenseitige Abhängigkeit von lichtelektrischer Wirkung und Phos-

phorescenz entdeckt. Das brachte sie dazu, beiden Vorgängen den gleichen Mechanismus zuzuschreiben. Die enge Verknüpfung von Phosphorescenz und lichtelektrischer Wirkung ist später von LENARD als Grundlage seiner Phosphorescenztheorie übernommen worden. — Überraschend früh, schon 1891, haben ELSTER und GEITEL diesen Zusammenhang gefunden.

Wir erinnern noch einmal an den Ausgangspunkt der lichtelektrischen Arbeiten ELSTER und GEITELS. Sie wollten eine Deutung für die positive Ladung der Luft unserer Atmosphäre finden. Der Weg war richtig. Lichtelektrische Vorgänge wirken bei der Ladung der Atmosphäre mit. Aber ihr Beitrag reicht nicht aus. Es mußte noch eine zweite, viel ergiebigere Quelle vorhanden sein. ELSTER und GEITEL fanden sie in der radioaktiven Strahlung.

Die radioaktiven Substanzen waren gerade entdeckt. Sie galten als etwas ganz Seltenes. ELSTER und GEITEL zeigten, daß sie sich in feinster Verteilung überall auf dem Erdball vorfinden. Sie bewiesen, daß dauernd radioaktive Gase bei sinkendem Barometerdruck mit der Bodenluft der Erde entströmen. Diese Arbeiten gelten mit vollem Rechte als klassisch. Wer überhaupt Sinn für die Experimentierkunst hat, liest diese Abhandlungen ELSTER und GEITELS mit bewundernder Freude.

Das große Problem der Radioaktivität bewegte am Ende des vorigen Jahrhunderts die meisten produktiv arbeitenden Physiker. Die brennende Frage war, woher die Energie der radioaktiven Strahlung stammt. Eine von CROOKES herrührende Auffassung glaubte, die Energie entstamme dem Stoße der auftreffenden Luftmoleküle. ELSTER und GEITEL widerlegten sie leicht. Eine andere Hypothese war mit dem Namen CURIE verknüpft. Sie sah die Ursache in einer den Weltenraum durchdringenden Strahlung. Diese sollte in den radioaktiven Substanzen bevorzugt absorbiert werden und dabei radioaktive Strahlung hervorrufen. ELSTER und GEITEL stiegen in ein Bergwerk herab, um dort die Strahlung eines Präparates mit dem an der Oberfläche gemessenen Wert zu vergleichen. Waren beide Werte gleich, so widersprach das der Curieschen Hypothese. Denn die erregende, aus dem Weltenraum kommende Strahlung hätte auf dem Wege zum Bergwerksstollen durch die Erdschichten geschwächt werden müssen. Die Beobachtungen waren mit der Annahme der durchdringenden Strahlung unvereinbar. Statt dieser wagten ELSTER und GEITEL eine neue, höchst originale Deutung der radioaktiven Erscheinungen. Sie schrieben wörtlich, „daß das Atom eines radioaktiven Elementes nach Art des Moleküles einer instabilen Verbindung unter Energieabgabe in einen stabilen Zustand übergeht". Und sie fuhren fort: „Allerdings würde diese Vorstellung zu der Annahme einer allmählichen Umwandlung der aktiven Substanz zu einer inaktiven nötigen, und zwar folgerichtigerweise unter Änderung ihrer elementaren Eigenschaften." Klarer kann man die heute allgemein anerkannte Tatsache des radioaktiven Atomzerfalles und der Umwandlung eines Elementes in ein anderes nicht aussprechen. Das war im Jahre 1899. Drei Jahre später traten RUTHERFORD und SODDY mit ihrer quantitativ durchgearbeiteten Theorie des radioaktiven Atomzerfalles hervor. Die Vorstellung des radioaktiven Atomzerfalles ist für Physik und Chemie in gleicher Weise grundlegend und fruchtbar geworden. Wir verdanken diese Vorstellung ELSTER und GEITEL.

Auf ELSTER und GEITEL geht ferner eine besonders eindrucksvolle Tatsache der Radioaktivität zurück, nämlich die Scintillation der auf einen Leuchtschirm aufschlagenden α-Strahlen. Allerdings wurde die gleiche Beobachtung gleichzeitig und unabhängig von CROOKES veröffentlicht. Man weiß, daß die Scintillation einen der direktesten Wege zur Auszählung einzelner Atome ergeben hat.

Diese spärlichen Andeutungen mögen genügen. Die zeigen, daß ELSTER und GEITEL bei der Erforschung der Radioaktivität in vorderster Reihe gearbeitet haben. Auch hier blieben die Anwendungen nicht außer acht. Die Radioaktivität der Heilquellen ist von ELSTER und GEITEL entdeckt und auf sie gehen die heute eingebürgerten Untersuchungsmethoden zurück.

Die vierte Gruppe der Arbeiten ELSTER und GEITELS umfaßt den Mechanismus der Elektrizitätsleitung in Gasen. Eine Darstellung ihres Inhalts hieße eine kurze Geschichte dieses Gebietes schreiben. Dies Gebiet ist für die Entwicklung des modernen Atomismus entscheidend. Wir versagen es uns, auf die Einzelheiten einzugehen.

Die wissenschaftlichen Leistungen ELSTER und GEITELS fanden überall die ihnen gebührende große Beachtung. GEITEL, der nicht wie ELSTER promoviert hatte, wurde 1899 Göttinger Ehrendoktor. Die Namen der beiden Forscher waren im Inlande wie im Auslande weit bekannt. Kein Wunder, daß es die Preußische Unterrichtsverwaltung versuchte, diese allseitig anerkannten Physiker für eine ihrer Universitäten zu gewinnen. Leicht war diese Aufgabe natürlich nicht zu lösen. Es konnte sich nur um eine Doppelberufung handeln. An eine Trennung der beiden Freunde war nicht zu denken.

Zwei Vakanzen in Breslau gaben endlich die lang gewünschte Gelegenheit. ALTHOFF bat ELSTER und GEITEL zu sich ins Ministerium. Der mächtige Beamte empfing die beiden mit dem Wohlwollen sicherer Überlegenheit. Er eröffnete ihnen, was er zu vergeben habe. Ein glänzendes Institut, eine große Lehrtätigkeit, Apparate in Hülle und Fülle. Die beiden Freunde hörten bescheiden zu. ALTHOFF war einer freudig bewegten Zusage sicher. Aber es kam anders. ELSTER und GEITEL griffen durchaus nicht zu. ALTHOFFS Menschenkenntnis durchschaute die Lage: Die kleinen Oberlehrer aus der Provinz

waren vom hellen Sonnenschein ministerieller Huld geblendet. Er entließ sie, um ihnen Bedenkzeit zu geben. Nach einigen Stunden sollten sie wiederkommen. ELSTER und GEITEL kamen auch wieder. Aber sie sagten wieder nein. Die Hauptsache sei ihnen die wissenschaftliche Arbeit. Die Verwaltung eines großen Instituts, die mühseligen experimentellen Vorbereitungen der Vorlesungen, die ganze Umstellung auf den Universitätsbetrieb würde ihre selbständige Forschung hemmen. Sie wollten in Wolfenbüttel bleiben, so dankbar sie auch die Ehre dieser Berufung empfänden. — ALTHOFF soll auf diesen Ausgang der Verhandlungen nicht gefaßt gewesen sein. Gern pflegten ELSTER und GEITEL später zu erzählen, wie es ihnen in Berlin ergangen sei.

Die Braunschweigische Unterrichtsverwaltung zeigte für das Wirken ELSTER und GEITELS volles Verständnis. Sie ließ es nicht an äußeren Anerkennungen fehlen. Sie setzte die Zahl ihrer wöchentlichen Unterrichtsstunden auf einen Bruchteil der allgemein üblichen herunter. Es ist ja eigentlich betrübend, daß man diesen Punkt noch als eine Besonderheit erwähnen muß. Aber an unseren Schulen herrscht ja heute noch ein den Unterricht schwer schädigender Brauch. Man mutet den Lehrern, die experimentelle Vorführungen bringen, die gleiche Stundenzahl zu wie den Kollegen, die von der zeiterfordernden Mühe experimenteller Vorbereitungen keine Ahnung haben.

1915 feierte die deutsche Physik den sechzigsten Geburtstag ELSTER und GEITELS. Man hatte sich der Einfachheit halber auf ein mittleres Datum geeinigt. Eine umfang- und inhaltsreiche Festschrift brachte den Dank und die Verehrung der Freunde und Schüler zu beredtem Ausdruck. 1920 starb Elster. Die schon seit langen Jahren an ihm zehrende Zuckerkrankheit hat ihn dahingerafft. Seine Gattin folgte ihm freiwillig in den Tod. GEITEL blieb vereinsamt in dem großen Haus zurück. Er bat eine Base, ihren Lehrerinberuf aufzugeben und für ihn zu sorgen. Sie tat es und wurde bald darauf seine Frau.

Im Frühjahr 1923 erkrankte GEITEL. Eine Operation war unvermeidlich. Seine von jeher zarte Konstitution war dem Eingriff nicht gewachsen, die Genesung blieb aus. Am 15. August vorigen Jahres ist GEITEL verschieden.

Unser Nachruf gilt eigentlich HANS GEITEL. Aber wissenschaftlich waren ELSTER und GEITEL *eine* Persönlichkeit. Man kann nicht den einen ohne den anderen nennen.

Die physikalische Literatur hält die Arbeiten ELSTER und GEITELS in großem Ansehen. ELSTER und GEITEL hatten für ihre Forschungen nur die Mußestunden zur Verfügung, die ihnen neben ihrem Gymnasialunterricht verblieben. Sie haben ein wissenschaftliches Lebenswerk geschaffen, das jedem Universitätslehrer in bevorzugter Stellung zu hoher Ehre gereichen würde. Wir Deutschen haben allen Grund, ELSTER und GEITELS mit Stolz und besonderer Dankbarkeit zu gedenken. Manch einer will heute kleinmütig werden, wenn er die überlegenen wissenschaftlichen Hilfsmittel des englisch sprechenden Auslandes sieht. ELSTER und GEITEL haben ihr Leben lang mit bescheidenen Hilfsmitteln gearbeitet. Sie haben wieder einmal gezeigt, daß nicht die Hilfsmittel die Wissenschaft weiter bringen, sondern die Köpfe.

Über die Verschleppung tierischer Schädlinge durch den Schiffsverkehr.

Von ERNST JANISCH, Berlin-Dahlem.

Es liegt in der Natur der Sache, daß durch den ausgedehnten Schiffsverkehr der Neuzeit auch Organismen von Land zu Land mitgebracht werden, die hier nicht heimisch sind. In wie weitgehendem Maße solche unbeabsichtigte Verschleppung stattfinden kann und wie sie das gewohnte Bild verändert, zeigt ein Blick auf die Adventivflora großer Hafenanlagen, die Waren von anderen Kontinenten erhalten, wie z. B. Hamburg, Bremen, Duisburg-Ruhrort und dann auch die großen Verschiebebahnhöfe des Güterverkehrs, z. B. im Ruhrgebiet bei Oberhausen. Nicht so unmittelbar sichtbar, aber von vielleicht größerer Bedeutung ist die Adventivfauna, besonders wenn es sich um Tiere handelt, die als Schädlinge in das Wirtschaftsleben eingreifen.

Dabei ist einmal zu unterscheiden, ob es sich um Einschleppung von wenigen Exemplaren oder von großen Massen handelt, zweitens aber, ob der Schädling solche klimatischen und Ernährungsbedingungen vorfindet, daß die Einschleppung zu seiner Einbürgerung führt. Gerade diese Frage ist bei dem vielgenannten Koloradokäfer (Leptinotarsa decemlineata Say.) oft diskutiert worden. Es ist zwar nun sichergestellt, daß dieses Tier auch bei uns in Deutschland zusagende Lebensbedingungen finden wird, aber es ist doch der Einschleppung von Tieren, denen hier keine Möglichkeit, sich weiter zu verbreiten und festen Fuß zu fassen, geboten ist, durchaus Beachtung zu schenken. Zwar einzelne Tiere werden zu größerer Bedeutung selten gelangen können, weil der Schädigungsfaktor für sie zu groß ist, handelt es sich aber um Masseneinschleppungen, so ist die Gefahr doch ernst genug, wenigstens für kleinere Gebiete und bestimmte Orte. Ich erwähne als Beispiel den Maiskäfer (Calandra Zea—mais Mtsch.), der in ungeheuren Mengen im Jahre 1921 in das Duisburger Hafengebiet mit Laplatamais eingeschleppt wurde und während des heißen Sommers die Hafenanlagen stark bevölkerte. So konnte ich an einem kleinen Speicherfenster in Duisburg pro Minute 12 Maiskäfer zählen, die das Fenster von außen anflogen. Die Verseuchung der Ge-

treidespeicher war dementsprechend. Wir zählten in einer an sich unbefallenen Maisprobe, die auf dem Schüttboden verstreut lag, nicht weniger als 101 882 Maiskäfer pro Hektoliter. Gerade die Getreidetransporte von Übersee sind ein Beispiel dafür, in welch gewaltiger Menge Schädlinge nach Deutschland eingeführt werden, sowohl was die Zahl der Individuen, als auch die Zahl der Arten angeht. Von ZACHER und JANISCH werden 167 Arten Insekten und Milben angeführt, die in Getreide leben. Der Zahl nach am höchsten war eine Weizenprobe befallen, die pro Hektoliter 2 229 275 Reiskäfer (Calandra orizae L.) enthielt. Wenn Mais- und Reiskäfer auch im allgemeinen den Winter in Deutschland nicht überdauern können, so ist doch während ihrer Anwesenheit im Sommer mit ernsten Schädigungen zu rechnen, zumal sie mehrere Monate leben und immer wieder von neuem eingeschleppt werden. Gelangen solche an sich an höhere Temperaturen gebundenen Tiere aber an warm gehaltene Orte, wie in Dampfmühlen oder in die Malzlager der Brauereien, so werden sie zu einer ernsten Gefahr. Als Beispiel erwähne ich den Khaprakäfer (Trogoderma granarium Everts), der, mit indischem Getreide bei uns nach dem Kriege eingeschleppt, sich in Brauereien festgesetzt hat. Andererseits wird auch der bei uns häufige Kornkäfer (Calandra granaria L.) ebenfalls mit Getreide zu uns gebracht und auch in solchen Mengen, daß er eine höchst unerwünschte Verstärkung der schon vorhandenen Kornkäferplage in Deutschland darstellt.

Daß von solchen einmal befallenen Stellen aus, wenn die Lebensbedingungen es gestatten, dann eine Verbreitung stattfindet, ist selbstverständlich. Die Mehlmotte (Ephestia Kühniellia Zell.), ein bei uns bis etwa 1880 unbekanntes Tier, das ursprünglich wohl aus Mittelamerika stammt, wurde von Nordamerika mit Getreide zu uns gebracht, verbreitete sich dann rasch über ganz Deutschland, und heute gibt es keine Dampfmühle, wo sie nicht ständiger Gast ist und so stark die Mahlmaschinen, Plansichter, Transportgänge usw. mit ihren Gespinsten erfüllt, daß mindestens einmal in Jahre die Mühle stillgelegt werden muß, um die versponnenen Mehlklumpen zu entfernen. Der Schaden wurde in einer großen Dampfmühle im Jahre 1916 auf 16 000 Mark geschätzt.

Die Verbreitung und Einbürgerung von eingeschleppten Schädlingen kann bei zusagenden Lebensbedingungen auch von geringen Mengen der Tiere ausgehen, wie das Beispiel der San José-Schildlaus in Südafrika zeigt. Dieses Tier (Aspidiotus perniciosus), das, ursprünglich in China heimisch, über Japan nach Amerika und Australien verschleppt wurde, gelangte im Jahre 1904 von einer Baumschule in Victoria (Australien)

Fig. 1. Der Kartoffelkäfer (Leptinotarsa decemlineata Say.), Eier rotgelb an der Unterseite der Blätter, Larven in der Jugend blutrot, später orangerot, Puppe hell mennigrot, etwa 20 cm tief im Boden, Käfer etwa 1 cm lang, mit zehn schwarzen Längsstreifen auf den gelben Flügeldecken, schwarzen Flecken am Kopf und dem gelbroten Halsschild. Der Käfer und seine Larve fressen die Kartoffelfelder kahl. (Aus Merkblatt 5 der Biologischen Reichsanstalt, Berlin-Dahlem).

mit einer Sendung von 15 000 Stämmen nach Südafrika, verbreitete sich dort rasch so, daß 1913 die völlige Ausrottung trotz aller Gegenmaßnahmen unmöglich war. Ein weiteres Beispiel ist die Orangenschildlaus (Iceria purchasi), das noch besonders dadurch interessant ist, daß sie in ihrer ursprünglichen Heimat Australien nie eine ernste Plage darstellte. Als sie in Kalifornien eingeschleppt wurde, entwickelte sie sich zu einer so ernsten Gefahr, daß die Citruskultur der pazifischen Küste in Frage gestellt war. RYLEY vermutete da-

mals, daß die Plage in Kalifornien nur deshalb hatte so stark werden können, weil zwar der Schädling, nicht aber seine natürlichen Feinde ins Land gekommen waren, und KOEBELE fand dann tatsächlich in North Adelaide einen Marienkäfer (Novius cardinalis) als Hauptfeind der Laus, der dann 1886 nach Amerika eingeführt, in großen Mengen, man möchte sagen fabrikmäßig, gezüchtet und an die Besitzer der Orangekulturen versandt wurde. Von da ab hat die Plage ihre ernste Bedeutung verloren. Wie sehr durch Unachtsamkeit dann solche Verschleppung geradezu gefördert werden kann, zeigt die Einschleppung derselben Schildlaus in Florida, wo Jcerya purchasi bis 1884 nicht vorkam, wohl aber 2 Kommaschildläuse. Ein Pflanzer, der von dem berühmt gewordenen Novius cardinalis gehört hatte, ließ sich den Käfer kommen, in dem Glauben, daß er auch die Kommaschildläuse fressen würde. Unglücklicherweise wurden aber der Sendung einige Jcerya als Futter beigefügt und die Folge war eine sich rasch ausbreitende Plage der Orangenschildlaus in Florida.

Ein Tier, das augenblicklich für Deutschland wieder einmal besonderes Interesse besitzt, ist der Koloradokäfer Leptinotarsa decemlineata Say., der schon mehrmals, zuletzt 1914 bei Stade, bei uns eingeschleppt war, aber dank der sofort ergriffenen Gegenmaßnahmen des deutschen Pflanzenschutzdienstes an den Einbruchstellen wieder vernichtet werden konnte. Die gewaltige Gefahr, die eine Einbürgerung dieses Tieres in Deutschland für unseren Kartoffelbau haben würde, ist genugsam bekannt. Solange die Einschleppung auf dem Seewege zu uns erfolgt, ist, wie bisher immer, nur mit kleinen Gebieten, zunächst wenigstens, zu rechnen. Aber seit Ende des Krieges hat er sich in Südfrankreich festgesetzt, wo er wohl durch den Schiffsverkehr der amerikanischen Truppen nach Bordeaux eingeschleppt wurde. Über die Schnelligkeit seiner Ausbreitung gibt die beigefügte Karte ein anschauliches Bild (nach SCHWARTZ 1924). Die Gefahr ist diesesmal um so größer, als er auf dem Landwege gegen Deutschland vordringt, zumal die Kontrolle an der Grenze durch die Besetzung der Rheinlande bedeutend erschwert ist.

Ich habe willkürlich einige Beispiele herausgegriffen, um zu zeigen, welche Bedeutung der Verschleppung der Schädlinge durch den Schiffsverkehr zukommt. Es liegt durchaus im Interesse unseres deutschen Wirtschaftslebens, daß jeder, der dazu in der Lage ist, dem deutschen Pflanzenschutzdienst seine Hilfe bietet. Denn die Gefahren und Verluste sind groß genug. Das zeigt sich auch in der Gesetzgebung der verschiedenen Länder, die auf diese Dinge Bezug nimmt, wie Ausfuhr- und Einfuhrverbote für bestimmte Pflanzen, die ständigen Kontrollen in den Häfen, z. B. gegen San-José-Schildlaus, das Reblausgesetz und die vielen

Fig. 2. Der Kartoffelkäfer in Frankreich.
▨ Ausbreitungsgebiet 1922, ▩ Ausbreitungsgebiet 1923.

Verordnungen, über die das Nachrichtenblatt für den deutschen Pflanzenschutzdienst ständig berichtet.

Literatur.

SCHWARTZ, M., Die Koloradokäfergefahr. Nachrichtenblatt f. d. dtsch. Pflanzenschutzdienst, Jg. 4, Nr. 6. 1924.

VOELKEL, H., Zur Biologie und Bekämpfung des Khaprakäfers (Trogoderma granarium Everts). Arb. a. d. biol. Reichsanst. f. Land- u. Forstwissenschaft **13**, H. 2 (Jubl.-Band). 1924.

ZACHER, F., Notizen über Schädlinge tropischer Kulturen. Tropenpflanzer. Jg. 17, Nr. 6. 1913.

ZACHER, F., und JANISCH, E., Untersuchungen über den Schädlingsbefall des Auslandsgetreides. Arb. a. d. biol. Reichsanst. f. Land- u. Forstwissenschaft, **12**, H. 4. 1923.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Holländische Pendelbeobachtungen im Unterseeboot. (J. J. A. MULLER, Nature 1. März). J. J. A. MULLER gibt einen kurzen vorläufigen Bericht über die Fahrt von Dr. F. A. VENING MEINESZ mit dem U-Boot K II der Kgl. Holländischen Marine, die er durch das Rote Meer über Ceylon und Sumatra nach Batavia unternahm. Es wurden 30 Beobachtungen mit dem v. Sterneckschen Pendel zur Bestimmung der Gravitationskonstanten gemacht; davon 5 in Häfen über Wasser und die übrigen im getauchten Boot, um die durch die Oberflächenbewegung des Meeres verursachten Fehler möglichst auszuschalten. Da es im Indischen Ozean wenig Tiefenbestimmungen gibt, wurden sie an den Beobachtungsstationen mit dem Behmschen Echolot ausgeführt. VENING MEINESZ glaubt aus seinen Beobachtungen am Rande der Kontinentalscholle bei Ceylon schließen zu müssen, daß die Massenverteilung nicht genau die von der Theorie der Isostasie geforderte ist, sondern vielleicht auf ein Schwimmen der Kontinente im Sinne der Wegenerschen Theorie deutet.

Die Phosphorescenz durchsichtigen geschmolzenen Quarzes. (D. L. CHAPMAN und L. J. DAVIES, Nature 1. März). Bei der Untersuchung der Absorption von Gasen durch Glas und Quarzglas unter dem Einfluß elektrischer Entladungen haben die Verfasser gefunden, daß ein mit Sauerstoff oder Wasserstoff gefülltes Quarzrohr, wenn es stillen Entladungen ausgesetzt wird, noch bis 20 Minuten hell nachleuchtet, nachdem die Entladung aufgehört hat. Aus ihren Versuchen ziehen die Verfasser den Schluß, daß diese Phosphorescenzfähigkeit dem absorbierten Gase zuzuschreiben ist.

In Nature vom 15. März berichtet G. HEVESY über die **Untersuchung des Hafniumgehaltes einiger historischer Zirkoniumpräparate.** Besonders interessant sind darunter die Präparate von MARIGNAC. Während im allgemeinen der Hafniumgehalt von der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials abhängt, sind die Marignacschen Präparate alle aus Hyazinth hergestellt, der etwa 5% Hafnium enthält. Die Hafniumgehalte seiner Präparate variieren zwischen 5 und $^1/_2$%; und es ist bemerkenswert, daß dieser Wert von $^1/_2$% bei der Krystallisation als $(NH_4)ZrF_6$ erreicht wurde, d. h. bei der Methode, die heute noch als günstigste zur Trennung von Zirkon und Hafnium benutzt wird. Im Anschluß an diese Untersuchungen meint der Verfasser, daß nur die außerordentliche Ungenauigkeit der Atomgewichtsbestimmungen des Zirkons seinerzeit die Entdeckung des Hafniums verhindert hat.

Isotopeneffekte in den Bandenspektren des Bormonoxyds und Siliciumnitrids. (ROBERT S. MULLIKEN, Nature 22. März). Mit Hilfe der Beziehung zwischen Wellenlängen und Isotopengewichten, die die Quantentheorie liefert, kann der Verfasser zeigen, daß das seinerzeit von JEAVONS untersuchte Bandenspektrum, das er dem Bornitrid zuschrieb, wahrscheinlich von BO stammt und aus zwei superponierten Spektren besteht. Diese beiden Spektren verhalten sich genau so zu einander, wie die Quantentheorie es fordert, wenn man sie dem B^{11} und B^{10} zuschreibt und geben auch in der Intensität das Mengenverhältnis $B^{11} : B^{10}$ gut wieder.

Aus dem Bandenspektrum des Siliciumnitrids konnte Verfasser zeigen, daß Silicium außer dem Hauptbestandteil Si^{28} noch kleine Mengen Si^{29} und Si^{30} enthält. Das ist eine Bestätigung des Astonschen Ergebnisses, das von diesem wegen des möglichen Vorhandenseins von SiH und SiH_2 in seinem Massenspektrographen nicht mit voller Sicherheit behauptet werden konnte.

Spezifische und latente Wärme in Eisen und Stahl. (A. MALLOCK: Nature, 19. April.) Aus den Abkühlungskurven einiger Stahlproben mit verschiedenem Kohlenstoffgehalt zeigt sich, daß während der Abkühlung eine Umwandlung, die von einer Wärmetönung begleitet ist, eintritt und zwar bei um so höheren Temperaturen je kleiner der Kohlegehalt ist. Ferner läßt sich aus den Abkühlungskoeffizienten ablesen, daß die spezifischen Wärmen vor und nach der Umwandlung sich wie 1 : 3 verhalten. Auch kann man schließen, daß für eine angebbare Umwandlungstemperatur, also bestimmten Kohlegehalt, ein Maximum der latenten Wärme auftreten muß. Wenn man aus den Kurven auf den Kohlegehalt O extrapolieren dürfte, müßte man schließen, daß in diesem Fall die Umwandlung momentan, und zwar von einer Änderung der spezifischen Wärme begleitet, aber ohne Umwandlungswärme vor sich gehen müßte. v. SIMSON.

Astronomische Mitteilungen.

Die ruhenden Calciumlinien. Die Absorptionslinien der Sternspektren geben uns eine Möglichkeit, die Radialgeschwindigkeit der Sterne, d. h. die in die Sehrichtung fallende Komponente ihrer Bewegung, zu messen. Bewegt sich ein Stern auf uns zu, so sind die Absorptionslinien aus ihrer Normallage nach der violetten Seite hin verschoben, entfernt sich der Stern von uns, so verlagern sich die Linien nach der roten Seite hin. Dem Dopplerschen Prinzip gemäß ist die Änderung der Wellenlänge $\frac{d\lambda}{\lambda}$ der Geschwindigkeit der relativen Bewegung in der Sehrichtung proportional. Alle Linien eines Spektrums zeigen, da sie ihren Ursprung in der Sternatmosphäre haben, dieselbe Verschiebung $\frac{d\lambda}{\lambda}$, unabhängig davon, welchem chemischen Elemente sie zugehören.

Wenn wir mit einem Doppelstern zu tun haben, dessen Komponenten sich um den Schwerpunkt des Systems bewegen, so erhalten wir 2 Spektren. Sehen wir die beiden Sterne nebeneinander, dann bewegt sich (wenn wir nicht zufällig senkrecht auf die Bahnebene sehen) einer von ihnen auf uns zu, der andere von uns weg. Die Linien der einen Komponente sind infolgedessen nach der violetten, die der anderen nach der roten Seite verschoben. Wenn nach einem Viertelumlauf die Komponenten hintereinander stehen, bewegen sie sich senkrecht zur Blickrichtung; ihre Spektrallinien befinden sich also in der Ruhelage. Wo die beiden Komponenten so eng beieinander stehen, daß sie uns als ein einfacher Stern erscheinen, fallen die beiden Spektren zusammen; die entsprechenden Linien decken sich. Eine vollständige Deckung findet aber nur in der Ruhelage der Linien statt. Die Linien trennen und vereinigen sich in der Periode der Bahnbewegung, da der Violettverschiebung des einen Sterns immer eine Rotverschiebung des anderen entspricht (spektroskopische Doppelsterne). Wenn die eine Komponente des Doppelsterns dunkel ist, also nur ein Liniensystem im Spektrum vorliegt, macht sich die Doppelsternnatur immer noch durch die periodische Wanderung der Linien um eine mittlere Lage (Geschwindigkeit des Schwerpunktes) bemerkbar. Auch hier zeigen im allgemeinen alle Linien dieselbe Verschiebung $\frac{d\lambda}{\lambda}$.

Es gibt jedoch eine kleine Zahl von Sternen, bei denen sich die Absorptionslinien H und K (λ 3969, λ 3934) des ionisierten Calciums abweichend verhalten. Die zuerst entdeckten Fälle sind durchweg spektroskopische Doppelsterne, bei denen alle anderen Linien durch ihre gemeinschaftliche periodische Verschiebung die Bahnbewegung anzeigen, die Linien H und K aber unveränderlich ihre Lage behalten. Die ursprüngliche und naheliegende Erklärung, daß die H- und K-Absorption durch Calciumwolken zustande kommt, die zwischen uns und diesen Sternen im Weltraum schweben, schien unhaltbar zu werden, als sich 1921 bei der Zusammenstellung der damals bekannten 35 Fälle[1]) herausstellte, daß keiner dieser Sterne einem kälteren Typus als B_5, die meisten heißeren Typen als B_2 angehören. (Die Folge der Spektraltypen O_a, O_b, O_c [Emis-

[1]) S. „Die Naturwissenschaften", Jg. 9, H. 24. 1921.

sionslinien] $O_1, \ldots, O_8$, B_9, $B_1 \ldots, B_9$, $A_0 \ldots$ bedeutet fallende Temperaturen.) Es schien nicht plausibel, daß die absorbierende Wirkung der Calciumwolken sich nur bei diesen Sternen, nicht aber bei den viel zahlreicheren kälteren Sternen bemerkbar machen sollte. Man sah sich deshalb genötigt, die ruhenden Calciumlinien als eine Besonderheit dieser Spektralklassen anzusehen und sich ihren Ursprung in einer Calciumhülle zu denken, die solche Doppelsternsysteme als äußerste Hülle umgibt, aber von der Bewegung der einzelnen Komponenten nicht beeinflußt wird. Diese Hypothese blieb unbefriedigend, weil die von den Calciumlinien angezeigte Radialgeschwindigkeit in den meisten Fällen nicht mit der Schwerpunktsgeschwindigkeit des Doppelsternsystems übereinstimmt.

Durch eine Erweiterung des Beobachtungsmaterials kommt J. S. PLASKETT[1]) in die Lage, die Vorstellungen in eine neue Richtung zu lenken. Das Vorhandensein einer scharfen Grenze im Vorkommen der unnormalen Calciumlinien bei B_3 bis B_5 ließ eine Untersuchung nützlich erscheinen, ob auf der anderen Seite in der *O*-Klasse ebenfalls eine Grenze zu finden ist. PLASKETT untersucht mit Hilfe einer großen Zahl von Aufnahmen die Spektren von 34 Absorptions- und 6 Emissions-*O*-Sternen. Er findet, daß nicht nur in jeder Klasse des Typus *O* unnormale Calciumlinien vorhanden sind, sondern daß jeder untersuchte Stern dieses Typus die ruhenden Calciumlinien zeigt (die normalen Calciumlinien treten im Typus *O* nicht auf). Es bestätigt sich also mit großer Deutlichkeit, daß die vorhandenen Calciumlinien eine Eigentümlichkeit der heißesten Sterne sind. Es bestätigt sich aber auch, daß sie nicht in der Sternatmosphäre entstehen können. Die Verschiebung der Calciumlinien stimmt auch bei den *O*-Sternen nicht mit der Verschiebung der anderen (normalen) Linien überein, sie weicht meistens erheblich davon ab. Nicht unbedingt, aber bedeutend besser stimmt die von *H* und *K* angezeigte Bewegung mit der Sonnenbewegung überein, d. h. mit der Geschwindigkeit, mit der sich die Sonne in der Richtung auf den untersuchten Stern bewegt. Eine Auswahl von Sternen, bei denen eine besonders große Differenz zwischen den Calciumlinien und den normalen Linien auftritt, gibt ein ungefähres Bild hiervon:

des Sterns	Geschwindigkeit des Calciums	der Sonne	
− 64,1	− 20,4	− 8,9	km/sec
− 37	− 14,3	+ 0,9	„
+ 59,0	+ 13,3	+ 7,5	„
+ 36,1	+ 12,5	+ 15,1	„
+ 42,7	+ 15,2	+ 16,0	„
− 1,0	− 18,5	− 13,9	„
− 73,6	− 14,4	− 12,6	„

Nach diesen Ergebnissen PLASKETTS muß man zu der ursprünglichen Annahme zurückkehren, daß für die Calciumabsorption interstellare Wolken verantwortlich sind, die in bezug auf unser Sternsystem gänzlich oder nahezu ruhen. Es bleibt dann die alte Frage, warum unter solchen Verhältnissen die Calciumabsorption nur bei den heißesten Sternen auftritt. Zu ihrer Lösung schlägt PLASKETT die Hypothese vor, daß die Absorption in der Nachbarschaft der Sterne zustande kommt, daß also die ruhenden Linien nur auftreten, wenn ein Stern sich innerhalb oder in der Nähe einer Wolke befindet. Es ist dann plausibel, daß bei den sehr tiefen Temperaturen, die wir kosmischen Wolken zuschreiben müssen, nur die sehr intensive ultraviolette Strahlung der heißeren Sterne das Calcium ionisiert und dadurch die Absorption der Linien *H* und *K* ermöglicht. Außer *H* und *K* sind bisher nur die *D*-Linien des Natriums als ruhende Linien beobachtet worden. Es ist aber nicht anzunehmen, daß kosmische Wolken keine anderen Bestandteile enthalten. Vielmehr muß nach einer Erklärung gesucht werden, warum andere Elemente sich nicht durch Absorption bemerkbar machen. Wenn man versuchsweise annimmt, daß die Absorption am ehesten bei den neutralen Alkalimetallen, den einfach ionisierten alkalischen Erden usw. zu erwarten ist, dann bemerkt man, daß außer für Calcium und Natrium nur für Strontium, Barium und Radium die Resonanzlinien im photographisch erreichbaren Teil des Spektrums liegen, also für Elemente, die voraussichtlich auch in kosmischen Wolken selten sein werden.

Die Beschränkung der Calcium- und Natriumabsorption auf die heißesten Sterne stimmt auffällig überein mit einer Grenze bei der Spektralklasse B_1, die HUBBLE bei seinen Untersuchungen über das Leuchten der Gasnebel aufgefunden hat. Die Gasnebel leuchten infolge der Bestrahlung durch benachbarte Sterne. Ist der bestrahlende Stern heißer als B_1, so gibt der Gasnebel ein Emissions- (Linien-) Spektrum. Ist der Stern kälter als B_1, so ist das Spektrum des Nebels kontinuierlich. Es ist also etwa dieselbe Temperaturgrenze, oberhalb deren Linienemission bei Gasnebeln und ruhende Calciumlinien bei *O*- und *B*-Sternen auftreten. Wann Emission, wann Absorption eintritt, bleibt zu erklären.

Den neuen Tatsachen gegenüber wird sich auch die Ansicht nicht halten lassen, die SAHA[1]) zur Erklärung der Calciumabsorption geäußert hat. SAHA glaubt, daß die Calciumatmosphäre der Sonne und die Calciumhüllen der *O*- und *B*-Sterne ähnliche Tatsachen sind, die sich auf die besonders große Wirkung des selektiven Strahlungsdruckes auf das ionisierte Calcium zurückführen lassen. Bei den heißen Sternen ist die Intensität der Strahlung in der Wellenlänge der Linien *H* und *K* so bedeutend viel größer, daß eine sehr große Ausdehnung einer solchen Hülle verständlich wäre. Immerhin wäre aber zu erwarten, daß die Bewegung der Calciumhülle einen Zusammenhang mit der Bewegung des Sterns zeigen müßte. Es ist auch fraglich, ob dieselbe Art der Erklärung auf Natrium angewendet werden kann. In einem Versuch, den Sahaschen Gedanken fortzusetzen[2]), hält GERASIMOWITSCH es für möglich, daß der Strahlungsdruck auch beim ionisierten Natrium zur Geltung kommt. Die Resonanzlinien des ionisierten Natriums sind aber nicht beobachtbar, erst die *D*-Linien des nach seiner Wiedervereinigung nach dem Stern hin fallenden Natriums machen sich bemerkbar. Durch die Annahme der aufsteigenden Bewegung des ionisierten und der absteigenden Bewegung des neutralen Elementes ergeben sich jedoch Bedingungen für die relative Geschwindigkeit von Stern und Calcium bzw. Natrium, die durch die Plaskettschen Beobachtungen nicht bestätigt werden. Diese Vorstellung scheint also nicht der Wirklichkeit zu entsprechen. Man wird daher versuchen müssen, von der allgemeinen Plaskettschen Hypothese aus andere Wege zu finden. KRUSE.

[1]) Monthly Notices of the royal astronomical society **84**, 80. 1923.

[1]) Nature **107**, 488. 1921.
[2]) Nature **113**, 458. 1924.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.